DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2020.03.014

基于陶瓷表面化学镀镍的 6061 铝合金-Al₂ O₃ 封接工艺

仇天琳,张德库,熊煜婷,代珩,孙彪,王克鸿 (南京理工大学材料科学与工程学院,江苏南京 210094)

摘 要:研究陶瓷与 6061 铝合金烧结封接工艺及其结合机制。将 Al₂O₃陶瓷进行表面化学镀 镍,再与 6061 铝合金进行烧结封接,在不同烧结温度下观察 Al₂O₃(N)陶瓷/6061 铝合金接头 微观形貌,并选取在 590 ℃、1 h 下获得的接头进行 EDS 分析,测定不同温度下烧结 Al₂O₃(N) 陶瓷/6061 铝合金接头强度。研究表明,所制 Al₂O₃陶瓷表面化学镀镍层均匀致密,铝合金中 元素扩散至化学镀镍层,自铝合金一侧至陶瓷一侧,Al 元素含量整体上呈先减小后增大的趋势;随着烧结温度的升高,接头强度也随之升高,最大可达 15.4 MPa。 关键词:化学镀镍;Al₂O₃陶瓷;6061 铝合金;烧结封接 中图分类号:TB331 文献标志码:A 文章编号:1671-5276(2020)03-0051-02

Study of Technique of Sealing Al₂O₃ Ceramic Surface with

Electroless Nickel-plated 6061 Aluminum Alloy

QIU Tianlin, ZHANG Deku, XIONG Yuting, DAI Heng, SUN Biao, WANG Kehong

(College of Material Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China) **Abstract**: This paper makes a study of the sintering process of sealing the ceramic with 6061 aluminum alloy and its binding mechanism. Electroless nickel plating is done on Al₂O₃ ceramic surface, then sintering and sealing is with 6061 aluminum alloy. The microstructure of 6061 aluminum alloy/Al₂O₃(N) ceramic is observed at different sintering temperature conditions and EDS analysis is performed on the joints at 590 °C ,1 h. The bonding strength is tested at different temperatures conditions. It is found that the nickel layer on the ceramic surface is uniform and compact and the elements in the aluminum alloy spread to the electroless nickel plating layer. From the aluminum alloy side to the ceramic side, the content of Al element first decreases and then increases. With the sintering temperature rise, the joint strength also increases, up to 15.4 MPa.

Keywords: electroless nickel plating; Al₂O₃ ceramics; 6061 aluminum alloy; sintering and sealing

0 引言

金属封装陶瓷复合装甲具有广泛的应用前景,由于其 属于多种材料的系统问题,而非单一结构材料,其发展面 临着巨大的难点和挑战,因此对其进行深入研究可以给防 护领域带来一种更优化的选择。目前主要有铸造法、陶瓷 金属化、金属熔覆法、金属粉末冶金法几种工艺方法制备 金属封装陶瓷复合装甲^[1]。如今的陶瓷/金属复合装甲 的制备技术各有优缺点,如铸造法具有工艺简单、成本低 廉而且生产效率高的优点,但金属材料较大的收缩率有使 陶瓷材料产生裂纹的可能;陶瓷金属化法可以很好地改善 陶瓷和金属的界面润湿,但步骤较繁琐,设备较昂贵,成本 较高。这些方法存在的一系列缺点限制了其大规模应 用^[2]。

金属粉末冶金法制备金属封装陶瓷复合装甲具有致 密性高、性能优异、与陶瓷材料连接紧密和可以连续模块 化生产等优点,目前在金属封装陶瓷复合装甲的众多方式 中,国内外对采用金属粉末冶金的方式封装陶瓷的研究较 少^[3]。

本文通过在 Al₂O₃ 陶瓷表面化学镀镍,使陶瓷表面预 金属化,再通过烧结铝合金的方式封装,在不同烧结温度 下观察 Al₂O₃(N)陶瓷/6061 铝合金接头微观形貌,分析 烧结 6061 铝合金封接 Al₂O₃(N)陶瓷接头的元素扩散和 反应情况,研究不同工艺条件下铝合金烧结封接陶瓷接头 界面形成机制与封接质量。

1 试验材料

实验选用的陶瓷为上海某公司生产的 99Al₂O₃陶瓷。 6061铝合金为市售铝合金(T6态),其质量分数见表 1。 中间层 Ag 箔的纯度为 99.999%,厚度为 0.05 mm, Al-Si-Mg 钎料厚度为 0.1 mm。化学镀镍和 Al₂O₃陶瓷晶须生长 所涉及的化学药品有硫酸镍(六水)(NiSO₄ · 6H₂O)、次

基金项目:国防科技创新特区项目(18-H863-03-ZD-007-004-02)

第一作者简介:仇天琳(1998—),男,辽宁本溪人,硕士研究生,研究方向为陶瓷封装技术。

亚磷酸钠 $(NaH_2PO_2 \cdot H_2O)$ 、丙酸钠 $(C_3H_5NaO_2)$ 、氯化 亚锡 $(\Box x) (SnCl_2 \cdot 2H_2O)$ 、氯化钯、氢氧化钠、盐酸、丙 酮、硼酸等;所涉及的试验材料和设备有烧杯、玻璃棒、磁 力搅拌器、超声波清洗器等。

表1 6061 铝合金质量分数

•	元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
-	含量/ (%)	0.40~ 0.80	0.70	0.15~ 0.40	0.15	0.80~ 1.20	0.04~ 0.35	0.25	0.15	余量

2 6061 铝合金烧结封结 Al₂O₃陶瓷 工艺

Al₂O₃陶瓷表面化学镀镍工艺流程为:预处理—除 油—粗化—敏化—活化—还原—施镀。

图 1 是在保温时间 1h,不同烧结温度条件下得到的 烧结 6061 铝合金与表面化学镀镍 Al₂O₃陶瓷封接接头显 微形貌(为叙述方便,下文中将表面化学镀镍的 Al₂O₃陶 瓷简记为 Al₂O₃(N)陶瓷)。

从图 1 中可以看出, Al₂O₃陶瓷表面化学镀镍层均匀 致密,镀镍层中未见孔洞、麻点或裂痕等缺陷。Al₂O₃陶瓷 经过粗化后,陶瓷表面微观上凹凸不平,镀镍层沿着陶瓷 表面契合,紧密"锁扣"住陶瓷。可见,采用上述化学镀镍 工艺流程可以在 Al₂O₃陶瓷表面得到致密均匀的化学镀 镍层^[4]。

从铝合金的微观组织来看,烧结铝合金较为致密,除铝 合金一侧部分区域有少量气孔外,6061 铝合金和 Al₂O₃ 陶瓷 结合处过渡自然,无裂纹,孔洞等微观缺陷,二者紧密结合。

从烧结封接 6061 铝合金/Al₂O₃(N)陶瓷接头整体形貌 来看,左侧为烧结的 6061 铝合金,中间区域是铝合金与化学 镀层反应层和未反应的化学镀镍层,右侧为 Al₂O₃陶瓷。





图 2 是不同温度下,采用 6061 铝合金烧结封接 Al₂O₃(N)陶瓷接头抗剪切强度变化趋势。当对陶瓷表面 采取化学镀镍处理时,随着烧结温度的升高,接头强度也 随之升高。当温度提高为 570 ℃之后,接头抗剪切强度提 高显著,这是因为烧结温度较低,元素的扩散能力较差,铝 合金和镀镍层之间扩散不充分,反应区较薄所致^[5-6]。从 图中纵向对比可以看出,采用 6061 铝合金烧结封接 Al₂O₃(N)陶瓷接头抗剪切强度比直接封装 Al₂O₃陶瓷接 头强度值更大。分析认为,Al₂O₃陶瓷表面化学镀镍后,将 铝合金和陶瓷的连接转变为铝合金和镍的连接,此时铝合 金和镀镍层之间由于原子扩散发生反应生成新的相,铝合 金和镀镍层之间为晶间结合,而镀镍层和陶瓷之间为机械 结合^[7-8]。



3 封接机制

为了分析烧结 6061 铝合金封接 Al₂O₃(N) 陶瓷接头的元素扩散和反应情况,选取在 550 ℃、1h 下获得的接头进行 EDS 分析。

图 3 为烧结时间 1h、烧结温度为 550℃工艺下 Al₂O₃(N)陶瓷/6061 铝合金接头微观形貌及 EDS 线扫描 分析(因本刊为黑白印刷,如有疑问请咨询作者)。



(下转第 82 页)

on delmia quest simulation in an automotive production system [J]. Procedia Computer Science, 2017, 105:191-196.

- [3] 周三玲. 基于 Witness 的生产线建模仿真与优化[J]. 物流工 程与管理,2018,40(11):121-122,76.
- [4] 刘顺涛,钟衡,谯成. 基于 Delmia/Quest 的飞机装配线参数化仿真 研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2018(11):130-133.
- [5] 郑顺水. 生产线仿真技术研究[J]. 兵工自动化, 2004, 23 (4):22-23.
- [6] 徐林伟,何洪,孙丹. 钢轧生产线物流仿真建模研究[J]. 冶金 经济与管理,2018(4):28-31.
- [7] 王晓达. 基于 Flexsim 的 W 公司生产线生产排序仿真研究[J]. 山东工业技术,2018(23):105.
- [8] MAHMOUD Heshmat, MAHMOUD El Sharief, MOHAMED El

(上接第 52 页)

4 结语

 采用化学镀镍的方式对 Al₂O₃陶瓷进行表面金属化 预处理,成功得到致密均匀、形态为胞状突起的化学镀镍层, EDS 分析表明化学镀镍层为 Ni-P 非晶与微晶的混合物。

2) 在不同温度下采用 6061 铝合金烧结封接 Al₂O₃(N)陶瓷,接头紧密无缺陷,烧结铝合金较为致密, 6061 铝合金和 Al2O3 陶瓷结合处过渡自然,无裂纹、孔洞 等微观缺陷,二者紧密结合。烧结铝合金一侧表面整体呈 现粗糙度较大,接头界面分层明显。接头中 Al 与 Ni 原子 发生扩散生成 Ni-Al 金属间化合物,接头界面结构为 6061 铝合金/Al₃Ni/Al₃Ni₂/化学镀镍层/Al₂O₃陶瓷。

3)随着烧结温度的升高,Al₂O₃(N)陶瓷/6061 铝合 金烧结接头强度也随之升高,最大可达 15.4 MPa,且进行 陶瓷表面化学镀镍后,6061 铝合金烧结封接 Al₂O₃(N)陶 瓷接头强度大于直接封接 Al₂O₃陶瓷接头强度,接头断裂 于镍铝扩散反应区。

参考文献:

[1] 闫学增,林文松,方宁象,等. 金属封装陶瓷复合材料制备方

(上接第 59 页)

 1)无叶扩压段长度对叶片扩压器流场产生很大影响。无叶段越长,气流流入叶片时气流角变化越大,叶片 扩压器性能越低。

2)无叶扩压段内气流角变化在主流区内先增大后减小,在附面层区内受边界条件影响先减小后增大。但气流角变化不受进口马赫数和结构尺寸影响。

3)无叶扩压段长度适应范围选定在进口附面层受边 界条件影响范围之外,且主流气流角与进口相差不大的区域,无量纲长度范围为0.47~0.93。

参考文献:

- [1] 党政,席光,王尚锦.叶片安装角对动/静叶排内部非定常流动 的影响[J]. 工程热物理学报,2002(3):319-322.
- [2] KIM H W, PARK J I, RYU S H, et al. The performance evaluation of variations of diffuser geometry of the centrifugal compressor

Sebaie. Simulation modelling and analysis of a production line [J]. International Journal of Simulation & Process Modelling, 2017, 12(3/4): 369-376.

- [9] 郝建豹,许焕彬,林炯南. 基于 RobotStudio 的多机器人柔性制造生产线虚拟仿真设计[J]. 机床与液压,2018,46(11):54-57,81.
- [10] 屈琦, 贾晓亮, 郑植元, 等. 飞机部件装配生产线仿真研究 [J]. 航空制造技术, 2017(4):54-59.
- [11] 王福吉,贾振元,王林平,等. 生产线的设备规划布局设计与 加工仿真的实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2007
 (9):96-99.

收稿日期:2019-03-13

法的研究进展[J]. 轻工机械,2015,33(6):102-105,110.

- [2]张笑,吕令涛,杨建锋,等.封接工艺对陶瓷-金属接头组织和力学性能的影响[J].稀有金属材料与工程,2013,42(1): 145-148.
- [3] 宋启良,胡振峰,杜晓坤,等. 非金属表面化学镀覆的研究现 状[J]. 电镀与涂饰,2019,38(3):125-131.
- [4] 任重,杨磊,梁田,等. 钼镍铜合金在陶瓷-金属封接中的应用[J]. 真空电子技术,2017,(5):43-45.
- [5] HOU L, LI B C, WU R Z, et al. Microstructure and mechanical properties at elevated temperature of Mg-Al-Ni alloys prepared through powder metallurgy [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2017(9): 947-953.
- [6] 牛丽娜,杜少勋,张磊,等. 国产 WCu 热沉与氧化铝陶瓷匹配 封接研究[J]. 河北省科学院学报,2018,35(1):46-51.
- [7] M.B. Uday, M.N. Ahmad Fauzi, H. Zuhailawati, et al. Effect of welding speed on mechanical strength of friction welded joint of YSZ-alumina composite and 6061 aluminum alloy[J]. Materials Science & Engineering A, 2011, 528(13):4753-4760.
- [8] 王义峰. 氧化铝与镍铝合金表面生长晶须及钎焊接头组织与 性能[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.

收稿日期:2019-08-23

in a marine engine ($70\,MW$) turbocharger[C] // ASME Turbo Expo 2008:Power for Land, Sea and Air. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2008:447-454.

- [3] 夏树丹,张霞妹,刘志远. 三种离心叶轮超声扩压器性能对比 分析[J]. 航空科学技术, 2018, 29(4):9-17.
- [4] 初雷哲,杜建一,汤华. 计及几何参数变化的离心压气机特性 分析[J]. 工程热物理学报, 2006, 27(3):405-407.
- [5] 初雷哲,杜建一,黄典贵,等. 离心压气机叶片前缘几何形状对性能的影响[J]. 工程热物理学报, 2008, V29(5):767-769.
- [6] ANISH S, SITARAM N. Computational investigation of impellerdiffuser interaction in a centrifugal compressor with different types of diffusers[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2009, 223(2): 167-178.

收稿日期:2019-02-26